Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 2, Summer. 2020, p. 167-180

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص. ۱۸۰-۱۶۷

مقاله علمی- پژوهشی

ارزیابی کارایی مصرف نور ذرت (*Zea mays* L.) و کدوی پوست‌کاغذی (*Cucurbita pepo var.* styriaca) در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

پرویز رضوانی مقدم[1*]، قربانعلی اسدی[2]، بهاره بیچرانلو[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۱

چکیده

به‌منظور بررسی کارایی مصرف نور در نسبت‌های جایگزینی کشت مخلوط ذرت و کدو پوست‌کاغذی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در ۱۰ کیلومتری غرب شهرستان شیروان در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل نسبت‌های جایگزینی ۷۵٪ ذرت+ ۲۵٪ کدو پوست‌کاغذی، ۵۰٪ ذرت + ۵۰٪ کدو پوست‌کاغذی و ۲۵٪ ذرت + ۷۵٪ کدو پوست‌کاغذی و کشت خالص هر یک از گیاهان بود. نتایج حاکی از وجود رابطه خطی بین تجمع ماده خشک هر دو گیاه با تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی در تیمارهای مختلف کشت مخلوط با ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹ بود. کارایی مصرف نور برای ذرت از ۰/۹۲ گرم بر مگاژول در نسبت ۲۵ درصدی ذرت در کشت مخلوط تا ۴/۳۵ گرم بر مگاژول در کشت خالص و کارایی مصرف نور برای کدوی پوست‌کاغذی از ۰/۸۷ گرم بر مگاژول در نسبت ۷۵٪کدوی پوست‌کاغذی: ۲۵٪ ذرت تا ۳/۷ گرم بر مگاژول در کشت خالص آن متغیر بود. بیشترین میزان تشعشع جذب شده کل در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، در نسبت ۵۰٪ (کدو پوست‌کاغذی): ۵۰٪ (ذرت) و نسبت ۷۵٪ (کدو پوست‌کاغذی): ۲۵٪ (ذرت) مشاهده شد که در زمان بین ۱۱۰-۷۰ روز پس از کاشت میزان تشعشع جذب شده کل پوشش گیاهی حداکثر و با میزان تشعشع رسیده به پوشش گیاهی هم‌پوشانی داشت. بالاترین مقدار شاخص برداشت ذرت (۵۹/۵) در نسبت ۷۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۲۵٪ ذرت و بالاترین مقدار شاخص برداشت کدوی پوست‌کاغذی (۲۴/۱) در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت به‌دست آمد. بیشترین نسبت برابری زمین برای کارایی مصرف نور ذرت و کدوی پوست‌کاغذی در نسبت ۲۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۷۵٪ ذرت و سپس در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت (به‌ترتیب ۵/۴۹ و ۵/۰۴) مشاهده شد که بالاترین میزان شاخص برداشت را نیز نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، تشعشع فعال فتوسنتزی، جذب نور، شاخص سطح برگ، عملکرد

مقدمه

کشت مخلوط یکی از قدیمی‌ترین و رایج‌ترین فعالیت‌های کشاورزی در سیستم‌های کشت کم‌نهاده در بسیاری از مناطق جهان به‌شمار می‌رود (Anil *et al*., 1998; Tsubo and Walker, 2002). یکی از عوامل دخیل در برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، انتخاب درست اجزای آن است. هنگامی که گیاهان با سیستم ریشه‌ای متمایز و ساختار پوشش گیاهی متفاوت در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، آشیان‌های بوم‌شناختی متفاوتی را اشغال کرده و به‌دلیل استفاده مکانی و زمانی متفاوت از منابع محیطی در مقایسه با تک‌کشتی از منابع به‌طور کارآمدتری استفاده می‌نمایند (Tsubo *et al*., 2005). نور یکی از مؤلفه‌های اصلی رشد و تولید ماده خشک گیاه است که در شرایط بدون تنش تابعی از زمان، میزان تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده، کسری از تشعشع که توسط گیاه جذب می‌گردد و کارایی استفاده از تشعشع جذب شده در تبدیل به ماده خشک می‌باشد (Tsubo *et al*., 2001). از بین این مؤلفه‌ها، می‌توان میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی را از طریق افزایش شاخص سطح برگ و آرایش برگ‌های پوشش گیاهی بهبود بخشید. ذرت (*Zea mays* L.) به‌دلیل این‌که برگ‌های خود را در آرایش عمودی‌تری قرار می‌دهد، ضمن جذب بهتر نور، امکان نفوذ نور را به بخش‌های پایین پوشش گیاهی می‌دهد. از طرفی کدوئیان به دلیل پوشاندن سریع سطح زمین از طریق رشد خزنده و قابلیت رشد در سایه، از اغلب گیاهانی هستند که در کنار ذرت به صورت مخلوط کشت می‌گردند (Momirovic *et al*., 2015; Khoramivafa *et al*., 2006). کدوی پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) گیاهی علفی و یکساله است که به‌دلیل خواص دارویی متعدد از مهمترین و پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی تیره کدوئیان (Cucurbitaceae) است (Hamzei *et al*., 2015). بنابراین در کشت مخلوط ذرت و کدوی پوست‌کاغذی، ذرت به‌دلیل ارتفاع بیشتر نسبت به کدوی پوست‌کاغذی و ساختار مورفولوژیکی متفاوت، نور رسیده به سطح پوشش گیاهی را دریافت و مابقی تشعشعی که از لایه‌های بالایی عبور می‌کند توسط کدوی پوست‌کاغذی جذب

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب استاد، دانشیار و دانشجوی دکترا، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: rezvani@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v18i2.73192

می‌گردد و از این رو کارایی مصرف نور به حداکثر خود خواهد رسید (Moradi *et al*., 2015).

به نظر می‌رسد اغلب مقالات منتشر شده در زمینه کشت مخلوط طی ۲۰ سال گذشته در خصوص عملکرد گیاهان در کشت مخلوط و مقایسه آن با تک‌کشتی متمرکز بوده است و سایر خصوصیات کارکردی آن از جمله کارایی مصرف نور چندان مورد توجه قرار نگرفته است (Connolly *et al*., 2001; Moradi *et al*., 2016; Khorramivafa *et al*., 2008, 2011). مرادی و همکاران (Moradi *et al*., 2016) در بررسی سودمندی کشت مخلوط سه‌گانه ذرت، کدوی تخمه کاغذی و لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) بیان کردند که نسبت برابری زمین در مخلوط‌های دوگانه و سه‌گانه بیشتر از یک به‌دست آمد اما میزان آن در مخلوط سه‌گانه بالاتر از دوگانه ذرت و کدوی تخمه کاغذی بود. خرمی وفا و همکاران (Khorramivafa *et al*., 2008) گزارش کردند که کشت مخلوط کدوی تخمه کاغذی در بین ردیف‌های ذرت، تأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانه، بیومس کل و شاخص برداشت ذرت نداشت با این‌حال با افزایش تراکم ذرت، عملکرد دانه افزایش یافت ولی افزایش تراکم کدوی تخمه کاغذی تا دو بوته در متر مربع، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه ذرت نداشت. خرمی وفا و همکاران (Khorramivafa *et al*., 2011) به ارزیابی اقتصادی کشت مخلوط کدوی تخمه کاغذی با نخود (*Cicer arietinum*) و عدس (*Lens culinar*is) در سطوح مختلف نیتروژن پرداختند و بیان کردند که کشت کدوی تخمه کاغذی با عدس و مصرف ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، بیشترین بهره‌وری از زمین و سودمندی اقتصادی را به‌همراه داشت.

البته در خصوص کارایی مصرف نور نمی‌توان به‌طور قطع بیان نمود که در تمام کشت‌های مخلوط بالاتر از خالص است بلکه بسته به اجزای کشت مخلوط و نحوه آرایش آن‌ها نسبت به هم متفاوت می‌باشد (Alizadeh *et al*., 2010). نتایج مطالعات صورت گرفته روی کارایی مصرف نور در پوشش گیاهی مخلوط گیاهان مختلف متفاوت بوده و در حالی‌که برخی مطالعات بر افزایش کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ذرت با لوبیا و ذرت با سیب‌زمینی دلالت دارند (Azizi *et al*., 2015; Mansoori *et al*., 2013; Hosseinpanahi *et al*., 2010)، برخی دیگر، کاهش آن را گزارش نموده و تأثیر کشت مخلوط را بر کارایی مصرف نور ذرت با گندم و لوبیا با ریحان ناچیز دانسته‌اند (Nassiri Mahallati *et al*., 2011; Alizadeh *et al*., 2010) که البته به نظر می‌رسد این نتایج به گونه گیاهی، مورفولوژی و خصوصیات آن بستگی دارد.

عزیزی و همکاران (Azizi *et al*., 2015) به ارزیابی کارایی مصرف نور در کشت مخلوط سه رقم سویا (*Glycine max* L.)، سه گونه ارزن (*Panicum miliaseum* L., *Pennisetum glaucum* L., *Setaria italic* L.) و کشت مخلوط ارزن، سویا و کنجد (*Sesamum indicum* L.) و کشت مخلوط ارزن، کنجد، شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) و زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) پرداختند. در این گزارش بیان شده است که هرچه شباهت مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بین گیاهان کمتر باشد، تنوع کارکردی افزایش یافته و از نور به نحو بهتری استفاده می‌شود. در این مطالعه بیشترین میزان ماده خشک تولیدی به ازای نور جذب شده بر اساس تشعشع فعال فتوسنتزی در کشت مخلوط چهار گونه ارزن، کنجد، شنبلیله و زنیان به مقدار ۳/۳۱ گرم بر مگاژول گزارش شد (Azizi *et al*., 2015). در بررسی کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) نیز افزایش کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا در سیستم کشت مخلوط نسبت به کشت خالص هر یک از گیاهان گزارش شد (Mansoori *et al*., 2013). در این مطالعه افزایش سطح سایه‌انداز برای جذب تشعشع در کشت مخلوط ذرت و لوبیا و استفاده بهینه از نور توسط کشت مخلوط دلیل این برتری عنوان شد. حسین‌پناهی و همکاران (Hosseinpanahi *et al*., 2010) گزارش کردند که کارایی مصرف نور ذرت در تیمارهای مخلوط با سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) بیشتر از تک‌کشتی ذرت بود و در این میان تیمارهای مخلوط با آرایش ردیفی (با کارایی مصرف نور ۳/۲۷ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی) بر آرایش نواری (با کارایی مصرف نور ۲/۷۳ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی) ارجحیت داشتند. دلیل این برتری در تیمارهای مخلوط نسبت به کشت خالص ذرت، به‌خصوص مخلوط ردیفی، افزایش فاصله ردیف‌های ذرت نسبت به کشت خالص بیان شد، در حالی‌که کارایی مصرف نور سیب‌زمینی در تیمارهای مخلوط به دلیل سایه‌اندازی ذرت و کمبود نیتروژن کمتر از کشت خالص گزارش شد. منصوری و همکاران (Mansoori *et al*., 2013) در بررسی کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا در منطقه زنجان بیان کردند که میزان جذب تشعشع در مخلوط ذرت و لوبیا در کلیه تیمارهای کشت مخلوط نسبت به خالص هر دو گونه بیشتر بود و با توجه به کارایی مصرف نور در بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط این دو گیاه، کشت افزایشی ۶۰ درصد لوبیا به‌عنوان بهترین الگوی کشت تعیین شد. نصیری‌محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati *et al*., 2011) در کشت مخلوط تأخیری گندم زمستانه (*Triticum aestivum*) و ذرت مشاهده کردند که تشعشع جذب شده توسط پوشش‌گیاهی در کشت مخلوط نسبت به خالص افزایش قابل‌توجهی داشت اما کارایی مصرف نور گونه تحت تأثیر کشت مخلوط تغییر نکرد. از این رو، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر کدوی پوست‌کاغذی در کشت مخلوط با ذرت از نظر بهبود جذب تشعشع فعال فتوسنتزی، کارایی مصرف نور و یافتن بهترین نسبت اختلاط جهت نیل به این هدف انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی کارایی مصرف نور در نسبت‌های جایگزینی کشت مخلوط ذرت و کدو پوست‌کاغذی، آزمایشی در قالب سری جایگزینی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در ۱۰ کیلومتری غرب شهرستان شیروان (با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۷۵ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. میانگین درازمدت (۳۵ ساله) میزان بارش سالیانه ۲۷۹ میلی‌متر و میانگین دما ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد است. (North Khorasan meteorological administration, 2017).

عملیات مزرعه‌ای

جهت آماده‌سازی زمین مورد نظر که پیش از آن به کشت یونجه اختصاص داشت، در پاییز یک نوبت شخم برگردان زده شد. در اوایل بهار سال بعد، دو نوبت دیسک زده شد و سپس تسطیح گردید. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از انجام کشت یک مرتبه نمونه‌برداری از خاک مزرعه به‌صورت تصادفی از ۵ نقطه با استفاده از اُگر به قطر دهانه ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Some of soil physical and chemical properties

Soil texture	Bulk density ($g.cm^{-3}$)	Total Nitrogen (%)	Absorbable Phosphorus	Absorbable Potassium	pH	EC ($dS.\ m^{-1}$)
			ppm	ppm		
Clay loam	1.44	0.14	26.3	290	7.8	2.25

تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ (M)، کشت خالص کدوی پوست‌کاغذی (P)، نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی شامل ۷۵٪ ذرت + ۲۵٪ کدو پوست‌کاغذی، ۵۰٪ ذرت + ۵۰٪ کدو پوست‌کاغذی و ۲۵٪ ذرت + ۷۵٪ کدو پوست‌کاغذی بود. هر کرت شامل شش ردیف کاشت با طول شش متر بود که فاصله هر ردیف از یکدیگر یک متر در نظر گرفته شد. بذرها در خرداد ماه سال ۱۳۹۴ با فاصله روی ردیف ۱۸ سانتی‌متر برای ذرت و ۵۰ سانتی‌متر برای کدوی پوست‌کاغذی با دست به‌صورت خشکه‌کاری کشت گردید. آبیاری به شیوه معمول منطقه با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای انجام شد. با توجه به نتایج آزمون خاک، در طول فصل رشد هیچ‌گونه کودی مصرف نشد و کنترل علف‌های هرز در صورت لزوم و به‌صورت دستی انجام شد.

تغییرات سطح برگ و ماده خشک در طول فصل رشد

از حدود ۴۰ روز پس از کاشت تا زمان رسیدگی ذرت و کدوی پوست‌کاغذی، در شش مرحله به‌صورت تخریبی از سطحی معادل یک متر مربع از هر کرت (۵ بوته ذرت و سه بوته کدوی پوست‌کاغذی) و با فواصل هر دو هفته یکبار جهت تعیین شاخص سطح برگ و تغییرات وزن خشک برداشت شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ گیاهان، برگ‌های سبز هر بوته به تفکیک جدا شدند و پس از چیدن روی مقوای سفید و قرار دادن یک خط‌کش جهت کالیبراسیون، عکس‌برداری انجام و سپس با استفاده از نرم‌افزار Image J سطح برگ هر گیاه محاسبه شد (O'Neal *et al*., 2002; Bakr, 2005). سپس جهت تعیین وزن خشک، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند.

ابتدا مقادیر روزانه شاخص سطح برگ با استفاده از معادله (۱) برازش داده شد (Koocheki *et al*., 2009).

a+b*4*(exp(-(x-c)/d))/(1+exp(-(x-c)/d))^2 (۱)

که در آن a: عرض از مبدا، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI، c: حداکثر LAI، d: نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود، x: روز پس از کاشت و Y: مقادیر روزانه شاخص سطح برگ می‌باشد.

با استفاده از داده‌های ساعات آفتابی تهیه شده از سازمان هواشناسی استان خراسان شمالی برای عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، میزان تشعشع روزانه خورشیدی از روش خودریان و فان لار محاسبه شد (Nassiri Mahallati, 2000; Nassiri Mahallati *et al*., 2011).

هم‌زمان با نمونه‌برداری‌های سطح برگ و ماده خشک (از ۴۰ روز پس از کاشت، هر دو هفته)، میزان نور بالا و پایین پوشش‌گیاهی توسط دستگاه تشعشع‌سنج مدل Sun scan اندازه‌گیری شد (Nassiri Mahallati *et al*., 2011). با توجه به معادله (۲) و با داشتن شاخص سطح برگ و اندازه‌گیری نور در بالا و پایین پوشش‌گیاهی، ضریب استهلاک نوری (K) با رگرسیون‌گیری از لگاریتم طبیعی مقدار نور عبور کرده (Ii/I) در مقابل شاخص سطح برگ برای هر گونه به‌دست آمد.

$$\frac{I_i}{I_0} = e^{-K.LAI} \quad (۲)$$

در این معادله، I_0، مقدار تشعشع در بالای پوشش‌گیاهی، I_i، مقدار تشعشع در پایین پوشش‌گیاهی، K، ضریب استهلاک نوری و LAI، شاخص سطح برگ است.

نور جذب شده روزانه برای هر یک از گونه‌ها و برای هر نسبت کشت به‌صورت جداگانه با استفاده از معادلات (۵-۳) محاسبه و در نهایت کارایی مصرف نور برای هر گونه در نسبت‌های مختلف کشت به‌صورت جداگانه از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده

خشک (گرم بر متر مربع) آن گونه و میزان تشعشع تجمعی (مگاژول بر متر مربع) محاسبه شد (Tsubo and Walker, 2002).

$$I_i = I_0\ [1\text{-}\exp\ ((-K_M L_M) + (-K_P L_P))] \quad (۳)$$

$$I_P = I_i\ [(K_P L_P) / ((K_P L_P) + (K_M L_M))] \quad (۴)$$

$$I_M = I_i - I_P \quad (۵)$$

که در آن I_0: مقدار تشعشع رسیده به بالای پوشش‌گیاهی، I_i: مقدار تشعشع جذب شده در کل مخلوط، I_M: مقدار تشعشع جذب شده توسط ذرت، I_P: مقدار تشعشع جذب شده توسط کدوی پوست‌کاغذی، K_M: ضریب خاموشی نور ذرت و K_P: ضریب خاموشی نور کدوی پوست‌کاغذی، L_M: شاخص سطح برگ ذرت و L_P: شاخص سطح برگ کدوی پوست‌کاغذی می‌باشد (Nassiri Mahallati *et al*., 2011; Hosseinpanahi *et al*., 2010).

نسبت برابری زمین (LER) برای کارایی مصرف نور در کشت مخلوط کدوی پوست‌کاغذی و ذرت با استفاده از معادله (۶) محاسبه گردید.

$$LER = (RUE_{ms}/RUE_{mi})+(RUE_{ps}/RUE_{pi}) \quad (۶)$$

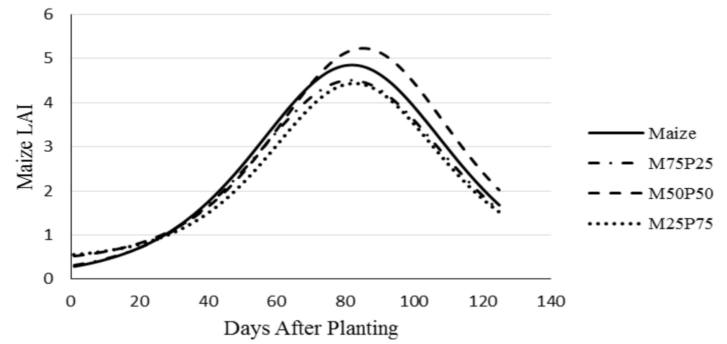
که در آن RUE_{ms} کارایی مصرف نور ذرت در کشت خالص، RUE_{mi} کارایی مصرف نور ذرت در کشت مخلوط، RUE_{ps} کارایی مصرف نور کدوی پوست‌کاغذی در کشت خالص و RUE_{pi} کارایی مصرف نور کدوی پوست‌کاغذی در کشت مخلوط است (Liu *et al*., 2018).

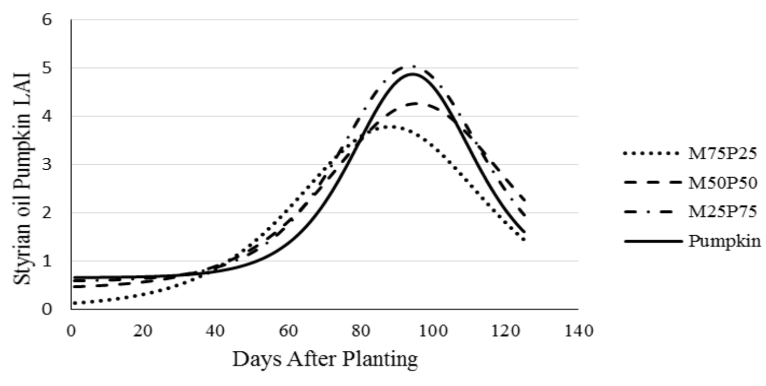
برازش داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Slide Write (ver. 7.01) و رسم شکل با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

روند شاخص سطح برگ

به طور کلی شاخص سطح برگ ذرت و کدوی پوست کاغذی در تمامی نسبت‌های کشت ابتدا روند افزایشی داشت و پس از رسیدن به حداکثر میزان خود از حدود ۷۰ تا ۱۱۰ روز پس از کاشت، مجدداً به دلیل زرد شدن و ریزش برگ‌ها در انتهای فصل رشد کاهش یافت (شکل ۱). بیشترین مقدار شاخص سطح برگ ذرت (۵/۲۳) در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت و بیشترین مقدار شاخص سطح برگ کدوی پوست‌کاغذی (۵/۰۴) در نسبت ۷۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۲۵٪ ذرت به‌دست آمد و کمترین مقادیر شاخص سطح برگ هر دو گیاه در نسبت‌های ۲۵ درصدی آنها مشاهده شد (شکل ۱). کاهش سطح برگ کدوی پوست‌کاغذی در این نسبت کشت می‌تواند به دلیل سایه‌اندازی پوشش‌گیاهی ذرت بر کدوی پوست‌کاغذی و دلیل کاهش سطح برگ ذرت در این نسبت کشت احتمالاً فراهمی نور و عدم نیاز به افزایش سطح برگ برای جذب نور در ذرت باشد.





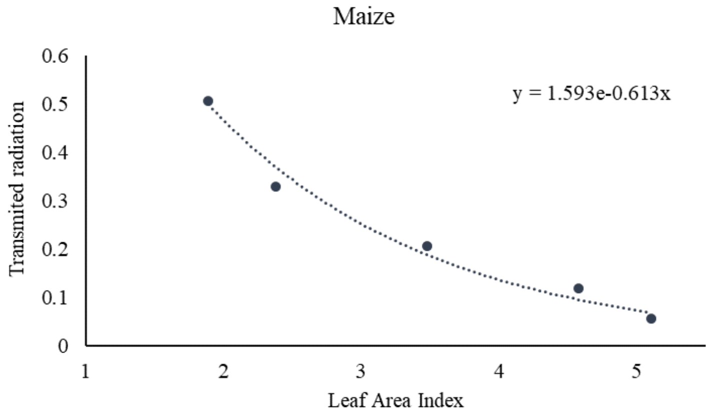
شکل ۱- روند شاخص سطح برگ ذرت و کدوی پوست‌کاغذی تحت نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در طول فصل رشد

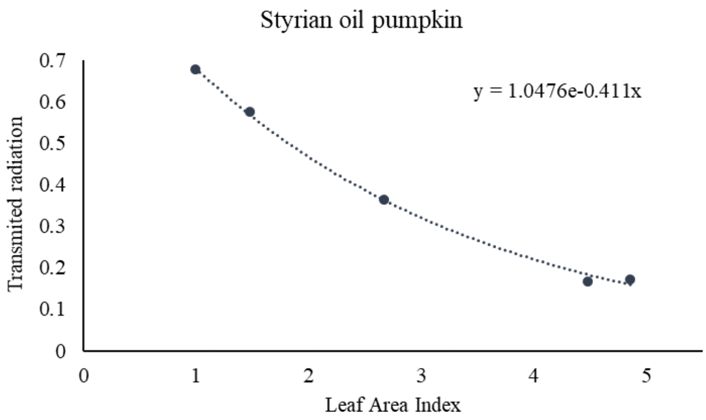
Figure 1- Leaf area index trend of maize and styrian oil pumpkin under different intercropping ratios during growth season

در کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا، بالاترین شاخص سطح برگ ذرت (۴) در کشت مخلوط افزایشی ۶۰٪ لوبیا مشاهده شد (Mansoori *et al*., 2013). کریمی و همکاران (Karimi *et al*., 2009) تأثیر تیمارهای کم آبیاری بر شاخص‌های رشد ذرت علوفه‌ای را بررسی کرده و مشاهده کردند که تیمار آبیاری کامل بالاترین شاخص سطح برگ (۵/۵-۵) را به خود اختصاص داد. در مطالعه‌ای دیگر شاخص سطح برگ ذرت تحت تأثیر کاربرد کود سبز و سطوح مختلف نیتروژن در حدود ۸۰ روز پس از کاشت به بیشترین مقدار خود (۵/۵) رسید (Mohammadi *et al*., 2015). در خصوص شاخص سطح برگ کدوی پوست کاغذی نیز دهقانی تفتی و همکاران (Dehghani Tafti *et al*., 2016) بیشترین شاخص سطح برگ کدوی پوست‌کاغذی (۳/۳۳) را در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم اوره+ ۱/۵ تن کود دامی گزارش نمودند در حالی‌که در مطالعه‌ای دیگر بیشترین شاخص سطح برگ کدوی پوست کاغذی با مقدار ۴/۲۹ در زمان ۷۳ روز پس از کشت در تیمار ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره مشاهده شد (Ng'etich *et al*., 2013). در بررسی دیگری بیشترین مقدار شاخص سطح برگ برای کدوی خورشتی (*Cucurbita pepo* Linn) و کدو تنبل (*Cucurbita maxima* Duchesne) تحت کشت دیم به‌ترتیب ۴/۱۴ و ۲/۳ و تحت شرایط آبیاری ۳/۶۳ و ۲/۲۱ گزارش شد (Fandika *et al*., 2011).

ضریب استهلاک نوری در ذرت و کدوی پوست کاغذی

ضریب استهلاک نوری که شیب منحنی حاصل از شاخص سطح برگ و نور عبور کرده از پوشش‌گیاهی می‌باشد، برای ذرت ۰/۶۱ و برای کدوی پوست کاغذی ۰/۴۱ به‌دست آمد (شکل ۲). در سایر منابع نیز ضریب خاموشی برای ذرت ۰/۶ گزارش شده است (Hosseinpanahi *et al*., 2010; Nassiri Mahallati *et al*., 2011; Koocheki *et al*., 2009).





شکل ۲- نور عبور کرده از پوشش‌گیاهی در مقابل شاخص سطح برگ ذرت و کدوی پوست کاغذی (شیب منحنی، ضریب استهلاک نوری گیاه می‌باشد).

Figure 2- Canopy transmitted radiation in front of leaf area index of maize and styrian oil pumpkin (Slope of the curve is the plant extinction coefficient)

کارایی مصرف نور ذرت

نتایج حاکی از وجود رابطه خطی بین تجمع ماده خشک ذرت با تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) تجمعی در تیمارهای مختلف کشت مخلوط با کدوی پوست کاغذی بود به‌طوری‌که در همه تیمارها ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹ به‌دست آمد (شکل ۳). شیب این خط که نشان‌دهنده کارایی مصرف نور است از ۴/۳۵ گرم بر مگاژول در کشت خالص ذرت تا ۰/۹۲ گرم بر مگاژول در نسبت ۲۵ درصدی ذرت (۷۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۲۵٪ ذرت) متغیر بود و کارایی مصرف نور ذرت در سایر تیمارها نیز حد واسط این دو مقدار به‌دست آمد (شکل ۳). به نظر می‌رسد بالاتر بودن کارایی مصرف نور در کشت خالص به دلیل بالاتر بودن ماده خشک در اثر بیشتر بودن تراکم، چهار کربنه بودن گیاه ذرت و رقابت درون گونه‌ای بر سر جذب نور باشد. از طرفی به نظر می‌رسد کارایی مصرف نور ذرت تحت تأثیر کشت مخلوط با گیاهانی که ارتفاع کمی دارند، قرار نمی‌گیرد که دلیل آن ممکن است جذب نور توسط برگ‌های بالایی پوشش گیاهی ذرت باشد.

بنا به گزارش توبو و واکر (Tsubo and Walker, 2002) ساختار پوشش گیاهی و کارایی مصرف نور ذرت تحت تأثیر لوبیا قرار نگرفت به‌طوری‌که تفاوتی بین کارایی مصرف نور ذرت در کشت خالص و مخلوط آن با لوبیا مشاهده نشد که دلیل آن را غالب بودن گیاه ذرت به دلیل ارتفاع بیشتر نسبت به لوبیا ذکر کردند. نتایج مشابهی در بررسی کشت مخلوط ذرت با لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L. cv. PAN 127) گزارش شده است که در آن کارایی مصرف نور ذرت در کشت خالص ۹ درصد بیشتر از کشت مخلوط آن با لوبیا بود (Tsubo *et al*., 2001) که آن‌ها دلیل آن را به بالاتر بودن کارایی مصرف نور در ذرت که یک گیاه چهار کربنه است نسبت دادند و بیان کردند که از آنجا که لوبیا یک گیاه سه کربنه است در کشت مخلوط با ذرت، سبب کاهش کارایی مصرف نور تیمار مخلوط گردید (Tsubo *et al*., 2001). از سوی دیگر حسین‌پناهی و همکاران (Hosseinpanahi *et al*., 2010) کارایی مصرف نور ذرت را بین ۳/۲۷ گرم بر مگاژول در کشت مخلوط ردیفی با سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) تا ۲/۶۵ گرم بر مگاژول در کشت خالص ذرت گزارش کردند و بیان کردند که هرچه مخلوط از آرایش ردیفی به سمت آرایش نواری تمایل پیدا کرد، کارایی مصرف نور به‌تدریج کاهش پیدا کرد و مقدار آن به ۲/۷۳ گرم بر مگاژول در کشت مخلوط نواری با سیب‌زمینی رسید. منصوری و همکاران (Mansoori *et al*., 2013) نیز بیشترین کارایی مصرف نور ذرت را در کشت مخلوط افزایشی ۶۰٪ لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (۱۹/۳ گرم برمگاژول) و کمترین میزان آن را در کشت خالص ذرت (۲/۳۳ گرم برمگاژول) به‌دست آوردند.

لیندکوئیست و همکاران (Lindquist *et al*., 2005) کارایی مصرف نور ذرت تحت شرایط مطلوب رشد را ۳/۷۴ و ۳/۸۴ گرم بر مگاژول گزارش کردند و بیان کردند که میزان کارایی مصرف نور ذرت در دوران پر شدن دانه نسبت به دوران رویشی کاهش نیافت. در حالی‌که اتگی و همکاران (Otegui *et al*., 1995) کارایی مصرف نور ذرت در طول فصل رشد را ۳/۳۹ گرم بر مگاژول برآورد کردند اما در دوران رشد رویشی مقدار بزرگتری (۴/۱۴ گرم بر مگاژول) را به‌دست آوردند. آندرد و همکاران (Andrade *et al*., 1993) مقدار کارایی مصرف نور ذرت را بین ۲/۲۷ تا ۳/۱۷ گرم بر مگاژول گزارش کردند و بیان کردند که با کاهش درجه حرارت، مقدار کارایی مصرف نور ذرت کاهش می‌یابد. حسین‌پناهی و همکاران (Hosseinpanahi *et al*., 2010) اختلافاتی که بین اعداد گزارش شده در آزمایشات مختلف وجود دارد را ناشی از تأثیر عوامل مختلف محیطی و مدیریتی از قبیل دما، میزان رطوبت قابل دسترس، میزان تشعشع محل مورد آزمایش، تراکم، حاصلخیزی خاک و عوامل دیگر بر کارایی مصرف نور دانستند.

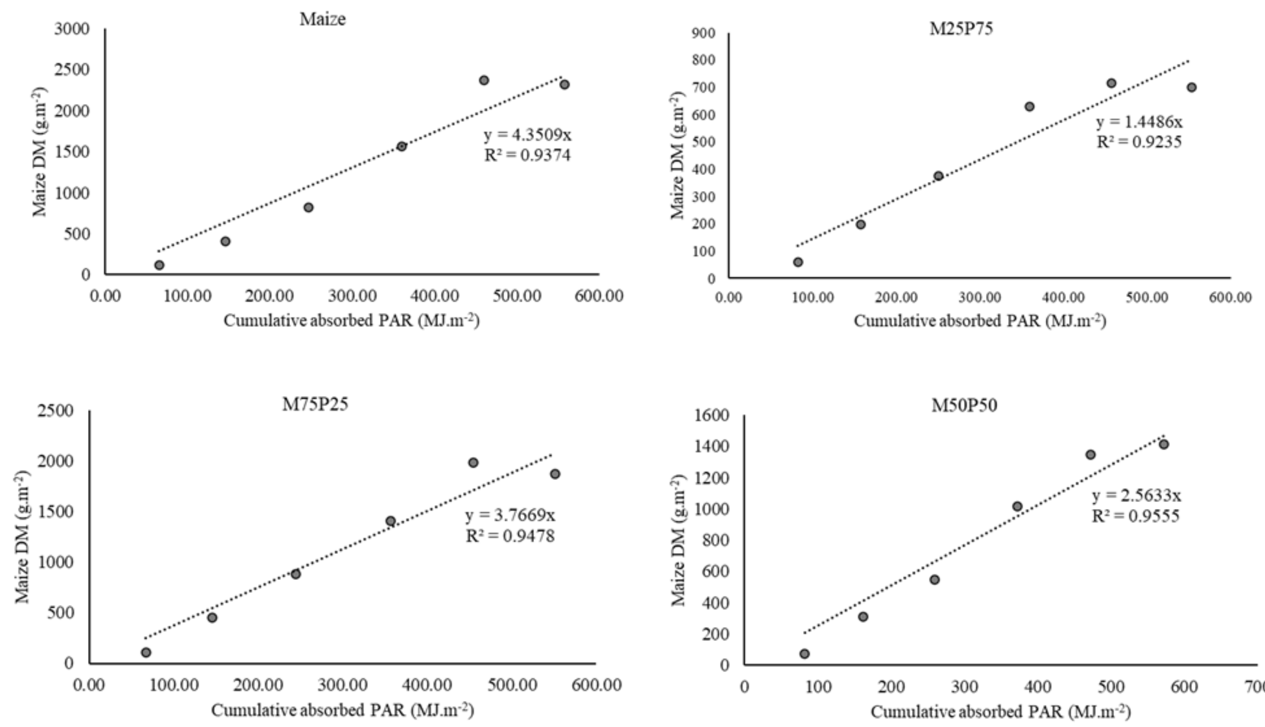
کارایی مصرف نور کدوی پوست‌کاغذی

در تمامی نسبت‌های کشت مخلوط، رابطه خطی بین تجمع ماده خشک کدوی پوست‌کاغذی با تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی (PAR) با ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹ به‌دست آمد (شکل ۴). بیشترین و کمترین مقدار کارایی مصرف نور کدوی پوست‌کاغذی (۳/۷ و ۰/۸۷ گرم بر مگاژول) به‌ترتیب در کشت خالص آن و نسبت ۲۵ درصدی کدوی پوست‌کاغذی ۲۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۷۵٪ ذرت مشاهده شد (شکل ۴) که ممکن است دلیل آن بیشتر بودن تراکم در کشت خالص و در نتیجه بالاتر بودن ماده خشک باشد و از طرفی بوته‌های کدوی پوست‌کاغذی در نسبت کشت ۲۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۷۵٪ ذرت، زیر سایه‌انداز ذرت قرار داشتند و ضمن دریافت تشعشع کمتر، ماده خشک کمتری هم تولید نمودند. مرادی‌مرجانه و همکاران (Moradi Marjaneh *et al*., 2013) در بررسی اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن و تراکم کاشت بر کارایی مصرف نور در کدوی پوست کاغذی، بیشترین (۰/۹۹ گرم بر مگاژول) و کمترین کارآیی مصرف نور (۰/۲۱ گرم بر مگاژول) را به‌ترتیب در تیمار تراکم ۲/۵ بوته در متر مربع و ۱۵۰ کیلوگرم درهکتار نیتروژن و تراکم ۰/۶۲ بوته در متر مربع و ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن گزارش کردند.

در کشت مخلوط لوبیا و ذرت نیز کارایی مصرف نور لوبیا در مخلوط نسبت به تک کشتی بالاتر بود (Tsubo and Walker, 2002; Tsubo *et al*., 2001). کوچکی و همکاران (Koochecki *et al*., 2009) نیز بیان کردند که افزایش عرض نوار در کشت مخلوط ذرت و لوبیا، منجر به کاهش معنی‌دار کارایی مصرف نور شد به

گونه‌ای که در ذرت و لوبیا بیشترین کارایی مصرف نور در تیمار عرض نوار ۲ ردیفی (به‌ترتیب ۱/۹۴ و ۱/۱۵) و کمترین آن در تیمار عرض نوار ۵ ردیفی (به‌ترتیب ۱/۷۴ و ۰/۹۸) مشاهده شد.

بیشترین نسبت برابری زمین برای کارایی مصرف نور ذرت و کدوی پوست کاغذی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در نسبت ۲۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۷۵٪ ذرت و سپس در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت (به‌ترتیب ۵/۴۹ و ۵/۰۴) مشاهده شد (شکل ۵).

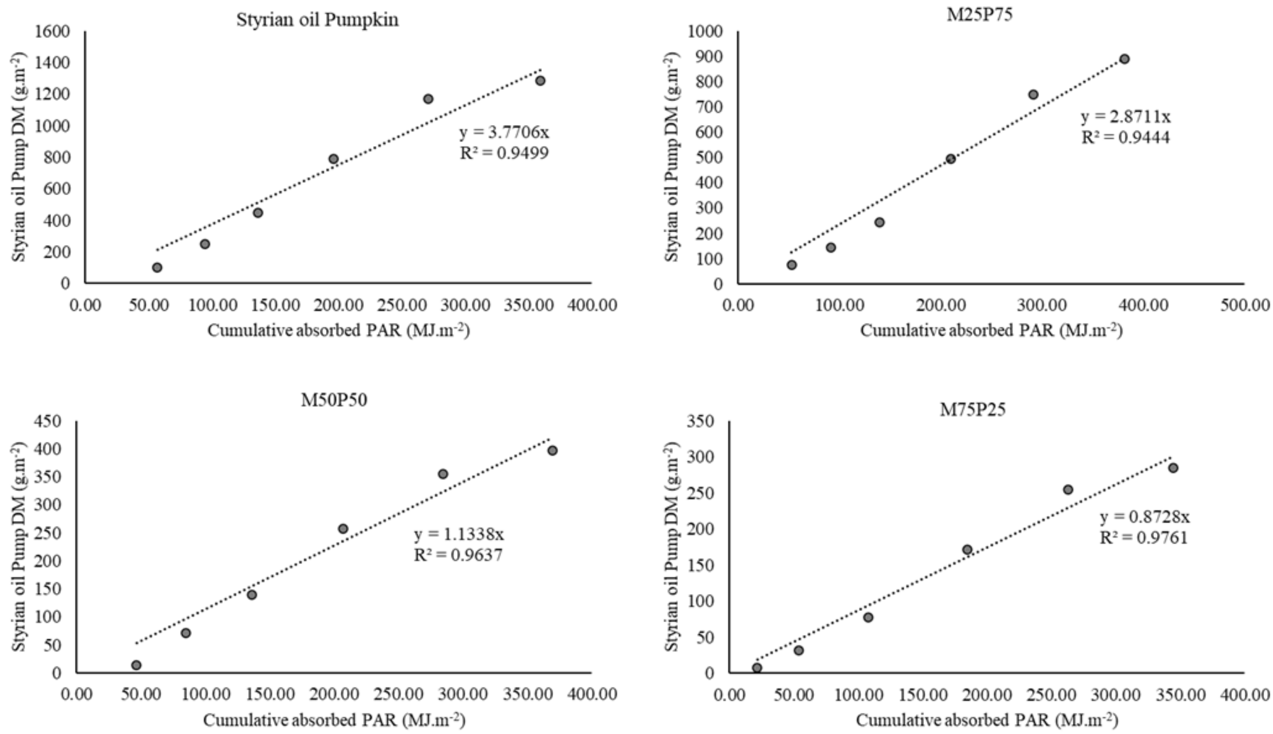


شکل ۳- ارتباط بین تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی جذب شده و وزن خشک ذرت در تیمارهای مختلف کشت مخلوط

Figure 3- The relationship between cumulative absorbed PAR and maize dry matter in different intercropping treatments

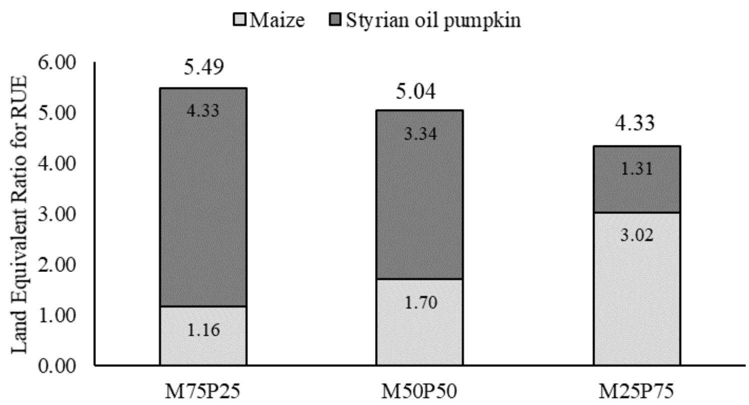
میزان تشعشع جذب شده توسط پوشش‌گیاهی

روند تشعشع جذب شده توسط پوشش‌گیاهی از روند تغییرات سطح برگ هر دو گیاه تبعیت نمود. بیشترین میزان تشعشع جذب شده کل در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت و نسبت ۷۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۲۵٪ ذرت مشاهده شد که در زمان بین ۷۰ تا ۱۱۰ روز پس از کاشت میزان تشعشع جذب شده کل پوشش‌گیاهی به بیشترین مقدار خود رسید و با میزان تشعشع رسیده به پوشش‌گیاهی همپوشانی داشت، بدین معنی که پوشش‌گیاهی مخلوط در این نسبت‌های کشت و در این بازه زمانی تمام تشعشع رسیده را به دلیل حداکثر بودن شاخص سطح برگ و بسته شدن پوشش‌گیاهی، جذب نموده و پس از آن دوباره کاهش یافت (شکل ۶) که دلیل اصلی آن ریزش برگ‌ها در انتهای فصل رشد و دوران رسیدگی است. حسین‌پناهی و همکاران (Hosseinpanahi *et al*., 2010) در بررسی کشت مخلوط ذرت با سیب‌زمینی، مشاهده کردند که مقدار تشعشع رسیده به پوشش‌گیاهی سیب‌زمینی در تمام تیمارهای کشت مخلوط کمتر از ۵۰ درصد کل تشعشع موجود بود و این مسئله را دلیل کاهش قابل توجه زیست‌توده سیب‌زمینی به دلیل قرارگیری در سایه‌انداز ذرت دانستند. در طی تحقیقی در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا، بیشترین تشعشع جذب شده توسط پوشش‌گیاهی کشت مخلوط افزایشی ۸۰٪ لوبیا با ذرت مشاهده شد (Mansoori *et al*., 2013). حسین‌پناهی و همکاران (Hosseinpanahi *et al*., 2011) در بررسی کشت مخلوط نخود (*Cicer arientinum* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.) به صورت ردیفی و نواری، بیان کردند که در تیمارهای مخلوط ردیفی میزان جذب نور ۳۶ درصد بالاتر از تک کشتی کنجد بود اما با تک‌کشتی نخود اختلاف چندانی نداشت و میزان جذب نور را در کشت درهم ۲۵-۲۰ درصد کمتر از کشت ردیفی گزارش کردند.



شکل ٤- ارتباط بین تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی جذب شده و وزن خشک کدوی پوست کاغذی در تیمارهای مختلف کشت مخلوط

Figure 4- The relationship between cumulative absorbed PAR and dry matter of styrian oil pumpkin in different intercropping treatments



شکل ٥- نسبت برابری زمین برای کارایی مصرف نور ذرت و کدوی پوست کاغذی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

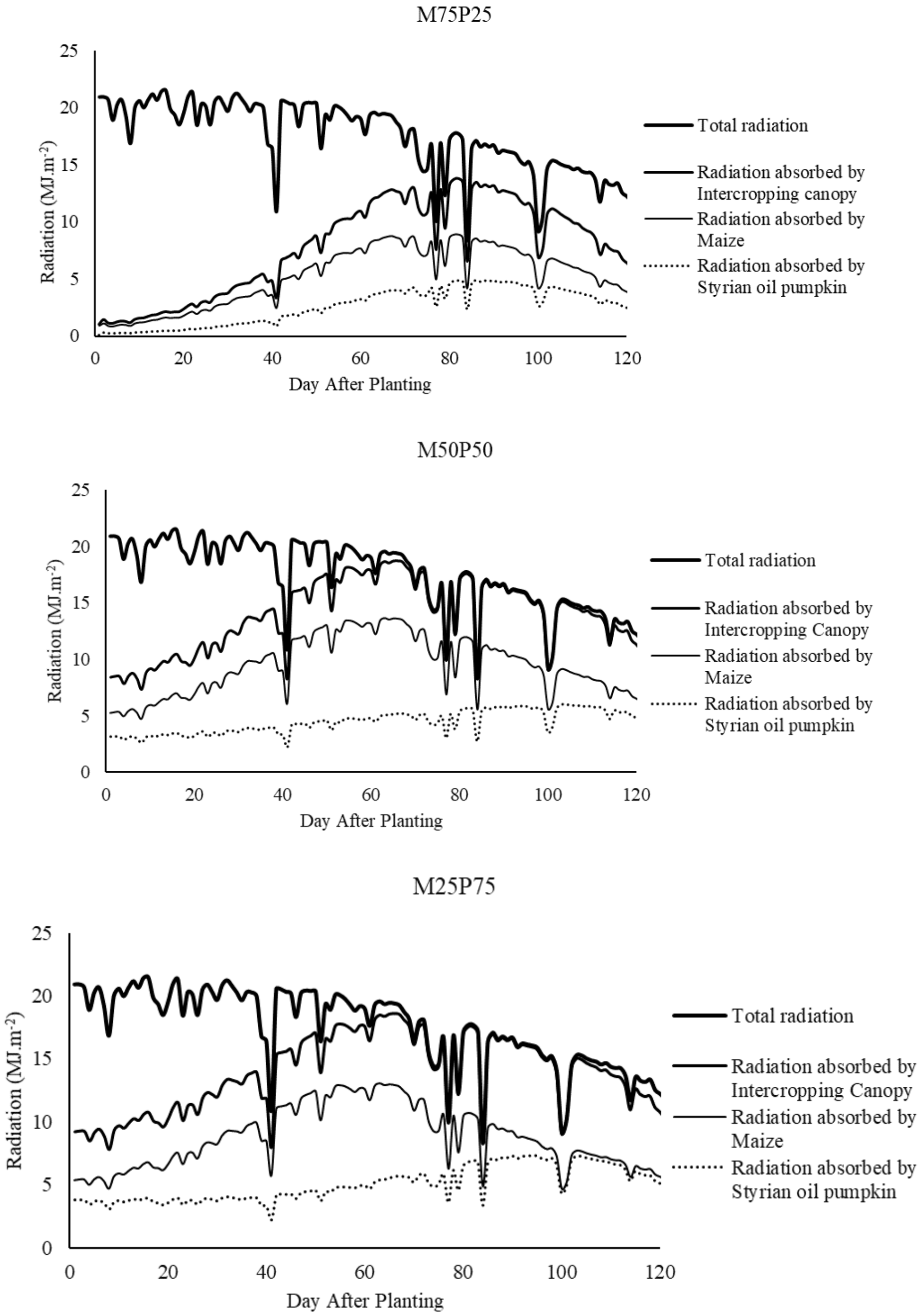
Figure 5- Land equivalent ratio for radiation use efficiency of maize and styrian oil pumpkin in different intercropping ratios

عملکرد ذرت و کدوی پوست‌کاغذی

اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر وزن دانه در بوته، عملکرد دانه در هکتار، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت ذرت در سطح یک درصد ($p\leq0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۲).

وزن دانه در بوته به‌ترتیب در نسبت‌های ۷۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۲۵٪ ذرت و ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت دارای بالاترین مقدار بود ولی بین نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک (به‌ترتیب ۸۵۵۹ و ۱۶۰۷۲ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص ذرت و کمترین مقادیر آنها در نسبت اختلاط ۷۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۲۵٪ ذرت مشاهده شد (جدول ۲) که به نظر می‌رسد مهم‌ترین دلیل آن تراکم پایین گیاه در کشت مخلوط بود. بنا به گزارش خرمی‌وفا و همکاران (Khorramivafa *et al.*, 2008) افزایش تراکم کدوی پوست‌کاغذی تا دو بوته در متر

مربع در بین ردیف‌های ذرت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد ذرت نداشت اما افزایش بیشتر تراکم کدوی پوست‌کاغذی سبب کاهش عملکرد شد. حسین‌پناهی و همکاران (Hosseinpanahi *et al.*, 2009) گزارش کردند عملکرد ذرت در کشت مخلوط با سیب‌زمینی در اثر فاصله بیشتر ردیف‌ها نسبت به خالص افزایش یافت ولی در مقابل عملکرد سیب‌زمینی در اثر سایه‌اندازی بیش از حد ذرت کاهش پیدا کرد؛ بنابراین کشت مخلوط ذرت و سیب‌زمینی با تراکم کمتر ذرت را توصیه کردند.



شکل ٦- میزان تشعشع کل و تشعشع جذب شده توسط پوشش گیاهی مخلوط، ذرت و کدوی پوست‌کاغذی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در طول فصل رشد

Figure 6- Amount of total and absorbed radiation by intercropping, Maize and Styrian oil pumpkin canopy in different ratios of intercropping during the growing season

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ذرت دانه‌ای در الگوهای مختلف کشت مخلوط با کدوی تخمه کاغذی
Table 2- Mean comparison of measured traits of maize in different intercropping ratios with pumpkin

تیمارها Treatments	عملکرد دانه در بوته Grain yield/plant (g)	عملکرد دانه در هکتار Grain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index
خالص ذرت Sole Maize	171.1bc[¥]	8559.2 a	16072.6 a	53.24 b
ذرت ۷۵٪: کدو ۲۵٪ M75:P25	c 163.7	5524.0 b	10437.1 b	52.90 b
ذرت ۵۰٪: کدو ۵۰٪ M50:P50	b 178.6	4467.1 c	8157.2 c	54.90 ab
ذرت ۲۵٪: کدو ۷۵٪ M25:P75	a 205.5	3459.4 d	5803.7 d	59.55 a
ضریب تغییرات C.V. (%)	2.74	3.20	1.90	4.31

¥ در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

¥ In each column, Means with the same letters are not significantly different at 5% probability level according to LSD's test.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در کدوی تخمه کاغذی در الگوهای مختلف کشت مخلوط با ذرت
Table 3- Mean comparison of measured traits of pumpkin in different intercropping ratios with maize

تیمارها Treatments	عملکرد دانه در بوته Grain yield/plant (g)	عملکرد دانه در هکتار Grain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index
ذرت ۷۵٪: کدو ۲۵٪ M75:P25	84.14 b	560.98 d	2512.8 d	22.36 b
ذرت ۵۰٪: کدو ۵۰٪ M50:P50	95.63 a	956.35 c	3975.7 c	24.05 a
ذرت ۲۵٪: کدو ۷۵٪ M25:P75	90.02 ab	1200.33 b	5747.6 b	20.90 b
خالص کدو Sole Pumpkin	73.60 c	1472.0 a	10849.1 a	13.57 c
ضریب تغییرات C.V. (٪)	4.05	4.53	2.94	4.01

¥ در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

¥ In each column, Means with the same letters are not significantly different at 5% probability level according to LSD's test.

تأثیر نسبت‌های مختلف کشت بر وزن دانه در بوته کدوی پوست‌کاغذی، عملکرد دانه در هکتار، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

کشت خالص کمترین وزن دانه در بوته را نشان داد (جدول ۳). با این حال، بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک (به‌ترتیب ۱۴۷۲ و ۱۰۸۴۹ کیلوگرم در هکتار) متعلق به کشت خالص کدوی پوست‌کاغذی و سپس نسبت ۷۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۲۵٪ ذرت (به‌ترتیب ۱۲۰۰ و ۵۷۴۷ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۳) که دلیل عمده آن تراکم گیاه در واحد سطح می‌باشد. Moradi *et al*. (2015) در بررسی کشت مخلوط ذرت، کدوی پوست‌کاغذی و کشت مخلوط سه‌گانه ذرت، لوبیا چیتی (*Phasaeolus vulgaris* L.) و کدوی پوست‌کاغذی در شرایط وجین و عدم وجین علف‌های هرز بیان کردند که بیشترین وزن هزار دانه و عملکرد دانه و میوه در کشت خالص در تیمار وجین و کمترین آنها در مخلوط سه‌گانه در عدم وجین حاصل شد.

نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت بیشترین تأثیر را در شاخص برداشت دانه داشت به‌طوری‌که بالاترین مقدار شاخص برداشت (۲۴/۱) در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت و کمترین مقدار شاخص برداشت (۱۳/۵) در کشت خالص کدو پوست‌کاغذی به‌دست آمد ولی بین دو نسبت دیگر اختلاف معنی‌داری در خصوص شاخص برداشت مشاهده نشد (جدول ۳).

نتیجه‌گیری

نتایج حاکی از وجود رابطه خطی بین تجمع ماده خشک هر دو گیاه و تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی در تیمارهای مختلف کشت مخلوط با ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹ بود. کمترین و بیشترین مقدار کارایی مصرف نور کدوی پوست‌کاغذی (۰/۸۷ و ۳/۷ گرم بر مگاژول) به‌ترتیب در نسبت ۲۵ درصدی کدوی پوست کاغذی و کشت خالص آن مشاهده شد. ممکن است دلیل آن بیشتر بودن تراکم در کشت خالص و در نتیجه بالاتر بودن ماده خشک باشد و از طرفی

بوته‌های کدوی پوست کاغذی در این نسبت کشت، زیر سایه‌انداز ذرت قرار داشتند و ضمن دریافت تشعشع کمتر، ماده خشک کمتری هم تولید نمودند. بیشترین میزان تشعشع جذب شده کل در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، در نسبت ۵۰ درصد در هر گیاه و سپس نسبت ۷۵٪ کدوی پوست کاغذی: ۲۵٪ ذرت مشاهده شد که در زمان بین ۷۰ تا ۱۱۰ روز پس از کاشت میزان تشعشع جذب شده کل پوشش‌گیاهی به بیشترین مقدار خود رسید و با میزان تشعشع رسیده به پوشش‌گیاهی همپوشانی داشت بدین معنی که پوشش گیاهی مخلوط در این نسبت‌های کشت و در این بازه زمانی تمام تشعشع رسیده را به دلیل حداکثر بودن شاخص سطح برگ و بسته شدن پوشش‌گیاهی، جذب نمود. به طور کلی می‌توان بیان کرد که گیاهی مانند ذرت کمتر تحت تأثیر کشت مخلوط با گیاهانی که ارتفاع کمتری دارند قرار می‌گیرد، اما برای گیاهانی مانند کدوی پوست کاغذی که روی سطح زمین رشد می‌کنند، میزان سایه‌انداز گیاه همراه نباید از حدی فراتر رود. چنان‌که در نسبت ۲۵ درصدی کدوی پوست کاغذی، کمترین عملکرد، کمترین شاخص سطح برگ، کمترین تشعشع جذب شده و در نهایت کمترین کارایی مصرف نور برای کدوی پوست کاغذی نسبت به سایر تیمارهای کشت مخلوط مشاهده شد. در بین نسبت‌های مختلف کاشت مخلوط، بالاترین مقدار شاخص برداشت ذرت (۵۹/۵) در نسبت ۷۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۲۵٪ ذرت مشاهده شد. نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت بیشترین تأثیر را در شاخص برداشت دانه داشت به‌طوری‌که بالاترین مقدار شاخص برداشت (۲۴/۱) در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت و کمترین مقدار شاخص برداشت (۱۳/۵) در کشت خالص کدو پوست‌کاغذی به‌دست آمد. همان‌طوری که پیش‌تر بدان اشاره شد، بیشترین میزان تشعشع جذب شده کل در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت و سپس نسبت ۷۵٪ کدوی پوست کاغذی: ۲۵٪ ذرت مشاهده شد، که با نتایج حاصل از عملکرد، شاخص برداشت دانه و نسبت برابری زمین در خصوص کارایی مصرف نور هم‌پوشانی دارد و نشان‌دهنده مزیت نسبت اختلاط ۵۰ درصد می‌باشد.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهه طرح شماره ۳۹۶۵۷ مصوب ۹۴/۱۰/۲۸ معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Evaluation of radiation use efficiency of intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and herb sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Agroecology 2 (1): 94-104. (in Persian).
2. Andrade, F. H., Uhart, S. A., and Cirilo, A. 1993. Temperature affects radiation use efficiency in maize. Field Crops Research 32 (1-2): 17-25.
3. Anil, L., Park, J., Phipps, R. H., and Miller, F. A. 1998. Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. Grass Forage Science 53: 301-317.
4. Azizi, G., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Nassiri Mahallati, M. 2015. Interaction of nutrient resource and crop diversity on resource use efficiency in different cropping systems. Agroecology 7 (1): 1-19. (in Persian).
5. Bakr, E. M. 2005. A new software for measuring leaf area, and area damaged by *Tetranychus uritcae* Koch. Journal of Applied Entomology (3): 173-175.
6. Connolly, J., Goma, H. C., and Rahim, K. 2001. The information content of indicators in intercropping research. Agriculture. Ecosystems and Environment 87: 191-207.
7. Dehghani Tafti, A., Allah Dadi, A., Najafi, F., and Kianmehr, M. 2016. Evaluation of different levels of pelleted manure and urea and micro elements on growth and physiological indices of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* var styriaca). Plant Production Research 22 (4): 49-65. (in Persian).
8. Fandika, I. R., Kemp, P. D., Millner, J. P., and Horne, D. J. 2011. Yield and water use efficiency in buttercup squash (*Cucurbita maxima* Duchesne) and heritage pumpkin (*Cucurbita pepo* Linn). Australian Journal of Crop Science 5 (6): 742-747.
9. Hamzei, J., Babaei, M., and Khorramdel, S. 2015. Effects of different irrigation regimes on fruit production, oil quality, water use efficiency and agronomic nitrogen use efficiency of pumpkin. Agroecology 7 (1): 99-108. (in Persian).
10. Hosseinpanahi, F., Koocheki, A., Nassiri, M., and Ghorbani, R. 2009. Evaluation of yield and yield component in potato/corn intercropping. Iranian Journal of Field Crops Research 7 (1): 23-30. (in Persian).
11. Hosseinpanahi, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2010. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in potato (*Solanum tuberosum* L.) /corn (*Zea mays* L.) intercropping. Agroecology 2 (1): 45-54. (in Persian).

12. Hosseinpanahi, F., Pouramir, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2011. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in replacement series intercropping of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.). Agroecology 3 (1): 106-120. (in Persian).
13. Karimi, M., Esfahani, M., Bigluei, M. H., Rabiee, B., and Kafi Ghasemi, A. 2009. Effect of deficit irrigation treatments on morphological traits and growth indices of corn forage in the Rasht Climate. Electronical Journal of Crop Production 2 (2): 91-110. (in Persian).
14. Khoramivafa, M., Zehtab Salmasi, S., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Javanshir, A., and Mohammadi Shuti, A. 2006. Evaluation of competition in corn (*Zea mays* L.) and pumpkinseed (*Cucurbita pepo* var. styriaca) intercropping by reciprocal yield model and some competitive indices. Journal of Agronomy 5 (3): 456-460.
15. Khorramivafa, M., Dabagh Mohammadi Nasab, A., Zahtab Salmasi, S., Javanshir, A., and Mohammadi, A. 2008. Evaluation of some crop characteristics of corn (*Zea mays* L.) in intercropping with pumpkin (*Cucurbita pepo* var styruaca). Agricultural Science 17 (4): 75-85. (in Persian).
16. Khorramivafa, M., Eftekharinasab, N., Nemati, A., Sayadian, K., and Najafi, A. 2011. Economic evaluation of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. var. Striac)/ chickpea-lentil intercropping system associated with several nitrogen levels. Agronomical science 4 (5): 53-62. (in Persian).
17. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S. 2009. Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy. Agroecology 1 (1): 13-23. (in Persian).
18. Lindquist, J. L., Arkebauer, T. J., Walters, D. T., Cassman, K. G., and Dobermann, A. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. Agronomy and Horticulture- Faculty publications, University of Nebraska-Lincoln, Paper 92. Available at: http://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub/92.
19. Liu, X., Rahman, T., Song, C., Yang, F., Su, B., Cui, L., Bu, W., and Yang, W. 2018. Relationships among light distribution, radiation use efficiency and land equivalent ratio in maize-soybean strip intercropping. Field Crops Research 224: 91-101.
20. Mansoori, H., Mansoori, L., Jamshidi, K., Rastgoo, M., and Moradi, R. 2013. Radiation absorption and use efficiency in additive intercropping of maize and bean in Zanjan Region. Crop Production and Processing 3 (9): 15-27. (in Persian).
21. Mohammadi, G., Safari-poor, M., Ghobadi, M., and Najaphy, A. 2015. The effect of green manure and nitrogen fertilizer on corn yield and growth indices. Sustainable Agriculture and Production Science 25 (2): 105-124. (in Persian).
22. Momirovic, N., Oljaca, S., Dolijanovic, Z., Simic, M., Oljacam M., and Janosevic, B. 2015. Productivity of intercropping maize (*Zea mays* L.) and pumpkins (*Cucurbita maxima* Duch.) under conventional vs. conservation farming system. Turkish Journal of Field Crops 20 (1): 92-98.
23. Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G., and Samiezadeh, H. 2015. Role of triple intercropping system in weeds control and naked-pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) yield. Sustainable Agriculture and Production Science 24 (4): 17-31. (in Persian).
24. Moradi Marjaneh, A., Banayan Aval, M., Rezvani Moghaddam, P., and Shabahang, J. 2013. Effects of different amount of nitrogen fertilizer and density on yield and light use efficiency of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). In First National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, October 10, Hamedan, Iran, Available at: http://www.civilica.com/Paper-MPSA01-MPSA01_155.html. (in Persian).
25. Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G. and Samizadeh, H. 2015. Role of triple intercropping system in weeds control and naked-pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) yield. Sustainable Agriculture and Production Science 24 (4): 17-31. (in Persian).
26. Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, Gh. and Samiezadeh, H. 2016. Evaluation of the beneficial effects of triple intercropping of maize (*Zea mays* L.), pinto been (*Phasaelous vulgaris* L.) and pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Journal of Crop Production and Processing 6 (19): 177-189. (in Persian).
27. Nassiri Mahallati, M. 2000. Modelling potential of crop growth processes (translation). Mashhad Jihad daneshgahi, Mashhad, Iran. (Pp. 280). (in Persian).
28. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Jahan, M. 2011. Light absorption and use efficiency in relay intercropping and fallow culture of winter wheat and corn. Iranian Journal of Field Crops Research 8 (6): 878-890. (in Persian).
29. Ng'etich, O. K., Nivokuri, A. N., Rono, J. J., Fashaho, A., and Ogweno, J. O. 2013. Effect of different rates of nitrogen fertilizer on the growth and yield of zucchini (*Cucurbita pepo* cv. Diamant L.) Hybrid F1 in Rwandan high altitude zone. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5 (1): 54-62.
30. North Khorasan meteorological administration. 2017. Climate data for Shirvan area. Retrieved 2017, Available at: http://www.nkhmet.ir/
31. O'Neal, M. E., Landis, D. A. and Isaacs, R. 2002. An inexpensive, accurate method for measuring leaf area and defoliation through digital image analysis. Journal of Economic Entomology 95 (6): 1190-1194.
32. Otegui, M. E., Nicolini, M. G., Ruiz, R. A., and Dodds, P. A. 1995. Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. Agronomy 87: 29-33.

33. Tsubo, M., and Walker, S. 2002. A model of radiation interception and use be maize/bean intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology 110: 203-215.
34. Tsubo, M., Walker, S., and Mukhala, E. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. Field Crops Research 71: 17-29.
35. Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H. O. 2005. A simulation model of cereal-legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. Field Crops Research 93: 10-22.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 2, Summer. 2020, p. 167-180

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص. ۱۸۰-۱۶۷

Evaluation of Radiation use Efficiency of Maize (*Zea mays* L.) and Styrian Oil Pumpkin (*Cucurbita pepo* var. styriaca) under Different Intercropping Ratios

P. Rezvani Moghaddam[1*], G. A. Asadi[2], B. Bicharanloo[3]

Received: 01-06-2018
Accepted: 02-12-2019

Introduction: Mixed cropping is one of the oldest and most commonly used agricultural activities in low-yield systems in many parts of the world. One of the factors contributing to the superiority of the mixed cropping to sole cropping is the correct selection of its components. When plants with a distinct root system and different canopy structures are placed next to each other, they occupy different ecological niches and have different spatial and temporal uses of environmental resources in a more efficient way than a combination of resources. Light is one of the main components of growth and production of dry matter of plants. In non-stressed conditions, dry matter production is a function of the time and amount of photosynthesis active radiation received, the fraction of radiation absorbed by the plant, and the efficiency of absorbed radiation converted to dry matter. Among these components, it is possible to improve the absorbance of photosynthetic active radiation by increasing leaf area index and canopy leaf arrangement. Due to the fact that maize leaves are placed in a more vertical arrangement, while absorbing better light, allows the light to penetrate into the lower canopy portions. On the other hand, Cucurbitaceae family plants because of the rapid covering of the surface of the land through crawling growth and the ability to grow in the shade, are most of the plants that are cultivated mixed with maize. Styrian oil Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) is an annual herbaceous plant which, due to its numerous medicinal properties, is one of the most important medicinal plants in the Cucurbitaceae family. Therefore, in maize and Styrian oil pumpkin mix cropping, most of the light is absorbed by the maize canopy surface due to its higher height and a different morphological structure, than the Styrian oil pumpkin and the rest of the light that passes through the upper layers is absorbed by the Styrian oil pumpkin canopy and hence, the efficiency of light consumption will be maximized. The aim of this study was to investigate the radiation use efficiency as an important aspect in crop growth and yield improvement.

Materials and Methods: In order to evaluate radiation use efficiency of maize and Styrian oil Pumpkin under different intercropping ratios, an experiment was conducted in a randomized completely block design with three replications in a field located in 10 km west of Shirvan, Iran in 2015. The experimental treatments were included intercropping replacement ratio of 75% maize: 25% Styrian oil Pumpkin, 50% maize: 50% Styrian oil Pumpkin, 25% maize: 75% Styrian oil Pumpkin and pure culture of both plants. A linear PAR Ceptometer (Sun Scan) was used to measure the radiation at top and under the canopy to calculate the amount of absorbed radiation by the canopy.

Results and Discussion: The results showed that there was a linear relationship between dry matter accumulation of both plants with cumulative photosynthetically active radiation. The correlation coefficient between them was greater than 0.9 in different intercropping treatments. Radiation use efficiency of maize was varied from 4.35 g MJ^{-1} in monoculture (the maximum amount) to 0.92 g MJ^{-1} (the minimum amount) in 25% maize: 75% Styrian oil Pumpkin treatment. The maximum and minimum amount of radiation use efficiency of Styrian oil Pumpkin (3.7 and 0.87 g MJ^{-1}) were observed in monoculture and 75% maize: 25% Styrian oil Pumpkin treatments. The highest amount of total absorbed radiation among different intercropping ratios, was obtained in 50% maize: 50% Styrian oil Pumpkin and 25% maize: 75% Styrian oil Pumpkin. The maximum amount of total radiation absorbed by the canopy obtained70-110 days after sowing date. The results showed that canopy in mixed cropping treatment absorbed all received radiation in 70-110 days after sowing date. The maximum harvest index of maize (59.5) and Styrian oil pumpkin (24.1) was obtained from 25% maize: 75% Styrian oil pumpkin and 50% maize: 50% Styrian oil pumpkin, respectively.

Conclusions: The results indicated that there was a linear relationship between accumulation of dry matter of both plants and cumulative active photosynthesis radiation in different cropping treatments with correlation coefficient greater than 0.9. The slope of this line, which shows the efficiency of light consumption, varied from 4.35 g MJ^{-1} to pure maize, up to 0.92 g MJ^{-1} in the 25% maize ratio, and the highest and lowest amount of light consumption efficiency of Styrian oil pumpkin (3.7 and 0.87 g MJ^{-1}) were observed in pure crop and 25% ratio of Styrian oil pumpkin, respectively.

Keywords: Canopy, Leaf area index, Photosynthetic active radiation, Radiation absorption, Yield

---

1, 2 and 3- Professor, Associate Professor and Ph.D. student, respectively, Department of Agrotechnolgy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: rezvani@um.ac.ir)